Aus der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik
Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. K. H. Vosteen

UNTERSUCHUNGEN ZUM FREQUENZUNTERSCHEIDUNGSVERMÖGEN DES MENSCHLICHEN OHRES

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
HANS HENNER OTTERBACH
1984

UNIV.
LIBRARY

Aus der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik
Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. K. H. Vosteen

UNTERSUCHUNGEN ZUM FREQUENZUNTERSCHEIDUNGSVERMÖGEN DES MENSCHLICHEN OHRES

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
HANS HENNER OTTERBACH
1984

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. A. Hopf

Referent
gez.: Prof. Dr. C. Morgenstern

Korreferent
gez.: Prof. Dr. A. Herforth

MEINEM VATER

gest. 29. 1. 1980

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	3 - 8
II.	METHODIK	9 - 14
III.	ERGEBNISSE	15 - 51
III. 1.	NORMAL HÖRENDE PATIENTEN	15 - 25
III. 2.	PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND NEGATIVEM GLYCEROLTEST	26 - 36
III. 3.	PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND POSITIVEM GLYCEROLTEST	37 - 48
III. 4.	PATIENT MIT BILATERAL FLUKTUIERENDEM GEHÖR	49 - 51
IV.	DISKUSSION	52 - 57
V.	ZUSAMMENFASSUNG	58
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	59 - 62
VII.	ANHANG	

I. EINLEITUNG

Die Fähigkeit des menschlichen Ohres, Schallfrequenzen zu unterscheiden, ist eine Voraussetzung für das Erkennen von Musik und Sprache. Sie bildet die Grundlage für das abstrakte Denken, wozu taub geborene zunächst nicht in der Lage sind. Der Schall wird in seine verschiedenen Frequenzen zerlegt und diese voneinander getrennt auf der Basilarmembran abgebildet.

Grundlegende Arbeiten über die physikalische Schallwahrnehmung stammen auf experimentellem Gebiet von von Békésy (1,2) und auf theoretisch-mathematischem Gebiet von Ranke. (13)

Von Békésy formulierte die Schalltransformation als "Wanderwelle" in der Schneckenflüssigkeit. Diese Bewegungsform auf der Basilarmembran wurde 1928 von ihm beschrieben. 1931 lieferte Ranke die erste mathematische Beschreibung der Innenohrmechanik, welche ebenfalls zum Begriff der "Wanderwelle" führte.

Die "Wanderwelle" wird durch die Bewegung des Stapes bzw. durch Schwingungen des Knochens bei Einwirkung eines Schalles erzeugt. Die Besonderheit dieser Transversalwelle ist es, daß ihre Auslenkungsamplitude mit wachsendem Abstand vom Stapes zunächst langsam zunimmt, dann ein Maximum durchläuft und dann sehr schnell auf Null abfällt. Eine Änderung der Schallfrequenz führt zu einer räumlichen Verschiebung des Amplitudenmaximums in der Cochlea. Die "Wanderwelle" bedingt eine Zuordnung von Tonfrequenz zum Ort maximaler Basilarmembranauslenkung im Sinne der Einorttheorie, d.h. einem ganz bestimmten Punkt auf der Basilarmembran entspricht eine ganz bestimmte Schallfrequenz.

Entscheidend für diese tonotope Abbildung von Wellen in der Cochlea ist neben der Elastizität der Basilarmembran die Reibung, der die Wellen ausgesetzt sind, sowie die Dichte der sie umgebenden Flüssigkeit.

Im folgenden sind die Faktoren, die für die Beweglichkeit der Basilarmembran von Bedeutung sind, zusammengefaßt.

a) LÄNGE
b) DICHTE
c) REIBUNG
d) FREQUENZ DES STEIGBÜGELS
e) ELASTIZITÄT DER MEMBRANEN

Durch Einzelfaserableitung im Bereich der aufsteigenden Hörbahn hat man jedoch festgestellt, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen sehr viel besser ist, als es die räumliche Verteilung der Frequenzen auf der Basilarmembran vermuten läßt. Daraus hat man geschlossen, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen durch zusätzliche neuronale Filter verbessert wird. In diesem Zusammenhang ist der Begriff des "Second-Filter" in die Literatur eingegangen.(18)
Im folgenden Diagramm ist die Verschärfung der Abstimmkurve in der aufsteigenden Hörbahn dargestellt.

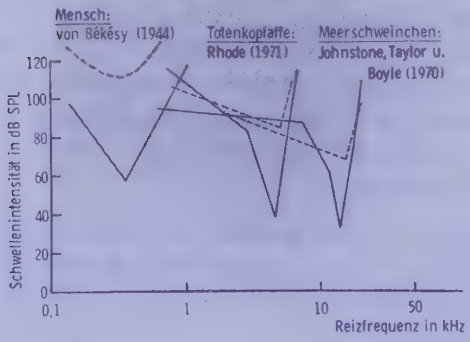


Abb. 1 (4)

Die Abbildung zeigt den Vergleich zwischen mechanischen Abstimmkurven (Tuningkurven) der Basilarmembran (gestrichelt) und entsprechenden Abstimmkurven einzelner Hörnervenfasern (ausgezogen). (4, 5)

Eine mechanische Abstimmkurve zeigt, wie die Reizintensität in Abhängigkeit von der Frequenz geändert werden muß, damit für einen bestimmten Ort der Basilarmembran immer die gleiche Auslenkungsamplitude entsteht. Die Abstimmkurve einer Hörnervenfaser gibt die Reizintensitätsschwelle als Funktion der Frequenz an, bei deren Überschreiten Erregungen ausgelöst werden. Man kann also in Analogie zur mechanischen Tuningkurve formulieren: die neuronale Abstimmkurve zeigt, wie die Reizintensität in Abhängigkeit von der Frequenz geändert werden muß, damit für eine bestimmte Nervenfaser immer der gleiche Effekt auftritt. (5)

Die neurophysiologische Tuningkurve entsteht, wenn derjenige Pegel L_M des erregenden Tones aufgetragen wird, der in Abhängigkeit von seiner Frequenz f_M gerade notwendig ist, um die erwähnte Erhöhung der Aktivität im Nerven hervorzurufen. Um solche Untersuchungen auch beim Menschen durchführen zu können, wurde diese Meßmethode in eine psychoakustische abgewandelt. Im Gegensatz zu den direkt von den Hörnervenfasern abgeleiteten neurophysiologischen Tuningkurven wird bei den psychoakustischen Tuningkurven die Hörbarkeit für einen leisen Testton, der nur etwa 10 dB über der Ruhehörschwelle dargeboten wird und dessen Pegel und Frequenz sich nicht ändern, als Kriterium benützt. Dieser Testton wird von einem Störton, der viel lauter ist, verdeckt. In der psychoakustischen Tuningkurve wird derjenige Pegel L_M des maskierenden lauten Tones aufgetragen, der als Funktion seiner Frequenz f_M notwendig ist, damit der Testton gerade verdeckt wird. Da tiefe Töne hohe Töne stärker verdecken als

UNIV. LINZ

umgekehrt,sind die so gewonnenen Kurven nicht symmetrisch.

Alle bisher gewonnenen Ergebnisse deuten darauf hin, daß die neurophysiologisch erstellten Abstimmkurven und die psychoakustisch gewonnenen Tuningkurven dasselbe Phänomen beschreiben.(16) Da bei den neurophysiologisch gewonnenen Tuningkurven mit Sicherheit gesagt werden kann, daß das mit ihnen bestimmte Selektionsvermögen peripher, auf jeden Fall aber vor dem N. acusticus zustande gekommen sein muß, kann dies auch für die psychoakustisch gewonnenen Tuningkurven beim Menschen angenommen werden.

Durch Untersuchungen von Sellik und Russel (14,15) 1977,1978 und 1980 mit Einzelableitungen der inneren Haarzellen ist bekannt, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen bereits in der Haarzelle besteht und daß eine weitere Verschärfung der Tuningkurve zur Erklärung des Frequenzunterscheidungsvermögens nicht mehr erforderlich ist. Sie schlossen daraus, daß das zweite Filter somit zwischen Basilarmembran und innerer Haarzelle zu lokalisieren ist. In Untersuchungen von Johnstone und Mitarbeitern (12) 1982 zeigte sich, daß bei experimenteller Erhöhung des endolymphatischen und perilymphatischen Druckes das Frequenzunterscheidungsvermögen sich parallel mit veränderten mechanischen Eigenschaften ändert und somit eine genügende Trennschärfe aufweist,so daß ein zweites Filter für das Frequenzunterscheidungsvermögen nicht notwendig ist. Sie schlossen daraus, daß die Frequenzdispersion auf der Basilarmembran erfolgt.Diese Untersuchungen wurden an Meerschweinchen durchgeführt. Diese Ergebnisse konnten Evans und Wilson (3) 1983 nicht bestätigen.

Es stellt sich nun die Frage, ob die Ergebnisse von Johnstone und Mitarbeitern, zu denen sie durch ihre Versuche an Meerschweinchen gekommen waren, sich auch auf das menschliche Ohr übertra-

gen lassen. Es ist demnach zu prüfen, ob auch für das menschliche Ohr die Hypothese gilt, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen nicht neuronal, sondern bereits mechanisch durch die Basilarmembran bestimmt wird.

Beim Menschen mit Morbus Menière besteht eine Erweiterung des endolymphatischen Raumes ohne wesentliche Erhöhung des hydrostatischen Druckes. Es entsteht eine Ausbauchung der Reißnerschen Membran beim endolymphatischen Hydrops dadurch, daß der Saccus und Ductus endolymphaticus ihre resorptive Funktion nicht mehr wahrnehmen. Der endolymphatische Hydrops ist in vielen Felsenbeinpräparaten an Menschen mit Morbus Menière nachgewiesen worden. Gibt man nun hyperosmolare Lösung in Form von 1,5 g Glycerol pro kg Körpergewicht zu trinken, so erhöht sich der osmotische Druck im Blut. Es kommt zu einem Wasserentzug mit Druckabfall im Bereich des endolymphatischen Hydrops. (20) Dies führt zu einem Höranstieg in etwa 70 bis 80% der Fälle von mindestens 15 dB in drei Frequenzen. Außerdem wird eine Abnahme des Tinnitus in einigen Fällen beobachtet. Dies haben die Untersuchungen von Klockhoff und Lindblom 1966 und 1967 gezeigt. (6,7) Dieser Höranstieg ist tonschwellenaudiometrisch oft reproduziert worden und stellt einen positiven Beweis für das Vorliegen eines endolymphatischen Hydrops dar. Überträgt man die Vorstellung von Johnstone und Mitarbeitern, daß die Frequenzunterscheidung allein in der Mechanik der Basilarmembran zu suchen ist auf das menschliche Ohr beim Morbus Menière, so müßte in Abhängigkeit vom endolymphatischen Druck, der veränderten Dichte der Endolymphe und der geänderten Vorspannung der Basilarmembran sich das Frequenzunterscheidungsvermögen ändern, wenn der Glyceroltest positiv ist. Dies träfe aber nur dann zu, wenn das Frequenzunterscheidungsvermögen überwie-

gend durch die Mechanik der Basilarmembran bedingt wäre, da die hyperosmolare Lösung ein neuronales zweites Filter kaum beeinflussen kann. Zusammenfassend ergibt sich als Fragestellung für diese Arbeit:

Gibt es beim positiven Glyceroltest mit Anheben der Hörschwelle eine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens?

Beim positiven Glyceroltest findet nach Yoshida und Lowry (20) eine Druckerniedrigung in der Endolymphe statt. Hieraus kann man folgern, daß eine wie auch immer geartete mechanische Verformung der Basilarmembran erfolgt. Von der Einorttheorie ausgehend müßte es nun zu einer Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens kommen, wenn nur die Basilarmembran für das Frequenzunterscheidungsvermögen des menschlichen Ohres verantwortlich wäre.

II. METHODIK

Für die Messung des Frequenzunterscheidungsvermögens (ΔF) des menschlichen Ohres können prinzipiell zwei Möglichkeiten verwendet werden. Zum einen kann durch Verdeckungsverfahren (psychoakustische Tuningkurve bzw. Mithörschwelle), zum anderen durch Bestimmung von ΔF bei verschiedenen Schallpegeln und Modulationsfrequenzen Einblick in die Funktionsweise der Basilarmembran gewonnen werden. Es stehen folgende Methoden der Bestimmung des Frequenzunterscheidungsvermögens bis heute zur Verfügung.

1. ΔF bei der Frequenz f_T:	Shower et al.	1931	(17)
(Bei verschiedenen	Zwicker	1952	(21)
Schallpegeln und	Oetinger	1959	(11)
Modulationsfrequenzen)	Langenbeck	1963	(9)
2. Verdeckungsverfahren:			
a. "Mithörschwelle"	Zwicker et al.	1967	(22)
Maskierton konstant,			
Testton variabel			
b. Psychoakustische	Zwicker et al.	1977	(16)
Tuningkurven	Leshowitz	1977	(10)
Prüfton konstant,	Wightman	1977	(19)
Maskierton variabel			

In unseren Versuchen wurde das Frequenzunterscheidungsvermögen mit Hilfe von psychoakustischen Tuningkurven in der von Schorn und Zwicker (16) angegebenen Art geprüft. Zur Erstellung der psychoakustischen Tuningkurven wurde ein Gerät verwendet,dessen Schaltbild und Wirkungsweise im Folgenden beschrieben werden.

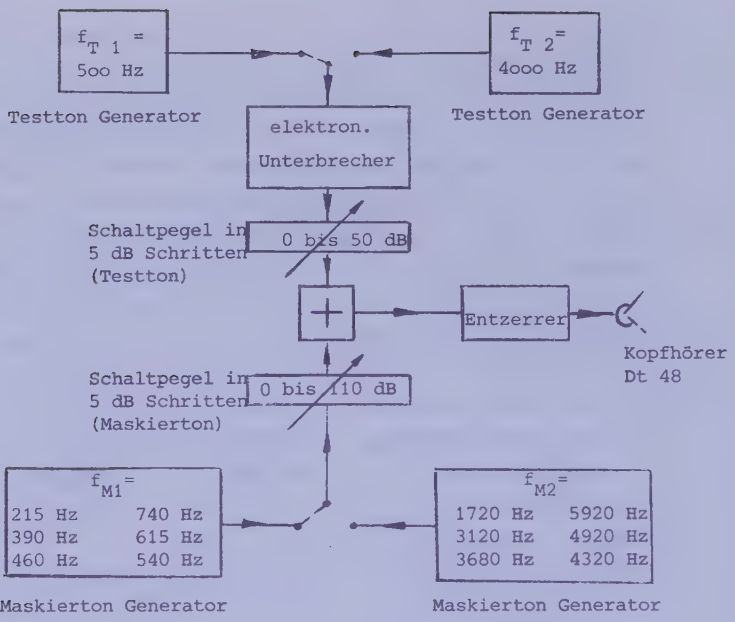


Abb. 2 (16)

Im oberen Teil des Schaltbildes sind die für die Frequenzlage f_{T2}=4000 Hz benützten Testtongeneratoren abgebildet. Diese liefern den Testton. Dieser wird,damit er auch bei geringer Lautstärke leicht erkannt werden kann,durch einen Unterbrecher ohne Schaltknacke je 500 ms aus- und eingeschaltet. Der Schallpegel des Testtones kann in 5-dB-Schritten zwischen 0 und 90 dB verändert werden.Über ein Additionsnetzwerk,dem auch der Maskierton zugeführt wird,werden beide Töne über einen Entzerrer einem Kopfhörer zugeleitet. Je drei Maskiertöne unterhalb und oberhalb des Testtones werden sowohl für den Frequenzbereich um 500 Hz als auch für den Frequenzbereich um 4 kHz (rechts) benützt.

Die Pegel der Maskiertöne können ebenfalls in 5-dB-Schritten zwischen 0 und 110 dB verändert werden. Die Frequenzen der Maskiertöne sind so gewählt, daß sich mit sechs Meßfrequenzen brauchbare psychoakustische Tuningkurven ergeben. Sie betragen für den Testton von 500 Hz 215, 380, 460, 540, 615 und 740 Hz, für den 4000-Hz-Testton 1720, 3120, 3680, 4320, 4920 und 5920 Hz.

Die Aufnahme der psychoakustischen Tuningkurven beginnt mit der Messung der Ruhehörschwelle des Testtones bei 500 Hz bzw. 4000 Hz bei völlig abgeschaltetem Maskierton. Liegt die Ruhehörschwelle des Testtones fest, wird sein Schallpegel um 10 dB gesteigert, um ein besseres Erkennen zu ermöglichen. Der Testton ist damit deutlich, wenn auch leise hörbar. Deutlich insbesondere deswegen, weil er periodisch ein- und ausgeschaltet wird und dadurch klar hervortritt. Am Testton, sowohl an seiner Frequenz als auch an seinem Schallpegel, wird während der Messung der Tuningkurven nichts mehr geändert.

Für die folgenden sechs Messungen muß nun der Patient Aussagen darüber machen, ob er den Testton hört oder nicht mehr hört. Der Untersucher ändert für jeweils eine Maskiertonfrequenz nach der anderen den Schallpegel L_M des Maskierers so, daß die Hörbarkeit des Testtones gerade verschwindet bzw. gerade wieder wahrgenommen wird. Derjenige Schallpegel L_M des Maskiertones, der notwendig ist, um diese Verdeckung hervorzurufen, wird im Diagramm eingetragen, und zwar bei derjenigen Frequenz, die gerade getestet wird. Nach Messungen von sechs Frequenzen des Maskiertones bei der niedrigen Frequenz kann dasselbe für die hohe Frequenz (4000 Hz) durchgeführt werden. Die Messung ist für den Patienten nicht allzu schwierig, da er nur auf den Testton achten muß, der in seiner Frequenz gleich bleibt.

Stellt man die Tuningkurve doppeltlogarithmisch dar, so erkennt man, daß die Meßpunkte eines jeden Schenkels in guter Näherung auf einer Geraden liegen. Um die durch die Messungen in 5-dB-Schritten bedingte Streuung auszugleichen, wurde für jeden Schenkel der Tuningkurve eine Approximation errechnet, die zur sogenannten Bestgeraden,nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, führte. Im Folgenden ist der mathematische Ansatz aufgezeigt.

Linearausgleich:

Gegeben: (x_i , y_i) ; n Stück

Ansatz: Lineare Korrelation $y = f(x)$

Gesucht: $y = a_1 + a_2 x$

$\Rightarrow$ x_i wird als beliebig genau vorausgesetzt,

y_i als streuend.

Dies trifft im vorliegenden Falle zu, da die Frequenzen genau bestimmt sind. In den Schalldrücken ist eine psychologische und eine auflösungsbedingte Unsicherheit von mindestens 5 dB.

Die Steigung der Geraden ist ein Maß für die Güte des Frequenzunterscheidungsvermögens. Ein weiteres Maß für das Frequenzselektionsvermögen ist die Pegeldifferenz im Nahbereich des Prüftones. Deshalb wurde zusätzlich die Pegeldifferenz ΔL zwischen dem Bezugspegel (Prüfton) und dem Pegelwert des Schnittpunktes der Geraden mit der Frequenz des nächsten benachbarten Maskiertones berechnet.

Abbildung drei zeigt die graphische Darstellung der Bewertungskriterien m und ΔL für die Auswertung der psychoakustischen Tuningkurven.

Diagramm einer psychoakustischen Tuningkurve:

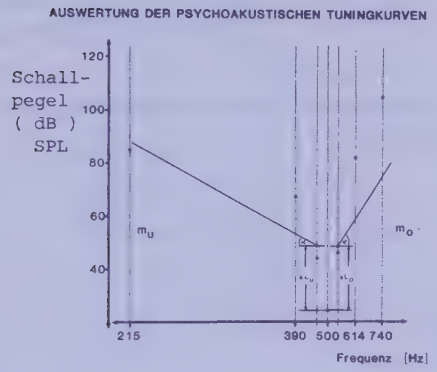


Abb. 3

Insgesamt stehen somit vier Parameter zur Beurteilung jeder psychoakustischen Tuningkurve zur Verfügung:

- die Pegeldifferenz ΔL_u am unteren Schenkel der psychoakustischen Tuningkurve,
- die Pegeldifferenz ΔL_o am oberen Schenkel der psychoakustischen Tuningkurve,
- die Steigung m_u des unteren Schenkels der psychoakustischen Tuningkurve und
- die Steigung m_o des oberen Schenkels der psychoakustischen Tuningkurve.

Zu Beginn der Messungen wurden bei den Testpersonen ein Tonschwellenaudiogramm und eine psychoakustische Tuningkurve aufgenommen. Alle Testpersonen befanden sich in nüchternem Zustand. Im Anschluß an diese Messungen bekamen die Testpersonen eine geschmackskorrigierte Lösung in Form von 1,5 g Glycerol pro Kilogramm Körpergewicht zu trinken. In stündlichem Abstand wurden Tonschwellenaudiogramm und psychoakustische Tuningkurve wiederholt. Die Messungen wurden über einen Zeitraum von fünf Stunden durchgeführt.

III. ERGEBNISSE

Die Untersuchungen wurden an insgesamt dreizehn Testpersonen, die sich nach Auswertung der Tonschwellenaudiogramme wie folgt in vier Gruppen aufteilen, durchgeführt.

1. NORMALHÖRENDE PATIENTEN
2. PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND NEGATIVEM GLYCEROLTEST
3. PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND POSITIVEM GLYCEROLTEST
4. PATIENT MIT BILATERAL FLUKTUIERENDEM GEHÖR

1. NORMALHÖRENDE PATIENTEN

Auswertung der Tonschwellenaudiogramme und der psychoakustischen Tuningkurven der normalhörenden Testpersonen.

1.1 Tonschwellenaudiogramm:

Die Tonschwellenaudiogramme zeigen bei diesen Patienten über alle Messungen nahezu identische Meßkurven. Die geringe Abweichung der Meßkurven voneinander liegt innerhalb der Meßgenauigkeit des Meßverfahrens. Die Angaben der Testpatienten über die Hörbarkeit eines dargebotenen Testtones schwanken erfahrungsgemäß um $\pm$ 5 dB. Ein Einfluß des Glycerols auf das Hörvermögen ist bei diesen somit auszuschließen.

Das folgende Diagramm zeigt Normalhörigkeit auf dem rechten Ohr des hier gemessenen Patienten A.L. und den Einfluß von Glycerol auf die Hörschwelle bei Normalhörenden.
Messung vom 17. 1. 1983

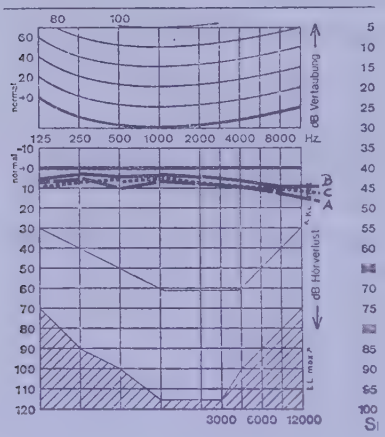


Abb. 4

A = Hörschwelle ohne Glycerol

B = Hörschwelle eine Stunde nach Einnahme von 1,5 g Glycerol pro kg Körpergewicht

C = Vier Stunden nach Gabe von Glycerol

1.2 Psychoakustische Tuningkurve

Das nachfolgende Diagramm zeigt als Beispiel die psychoakustische Tuningkurve eines normalhörenden Patienten A.L. Messung vom 17. 1. 1983

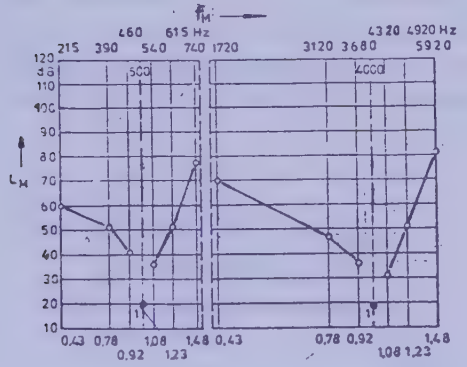


Abb. 5 Testton

Für jeden Patienten wurde zunächst der Mittelwert der nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechneten Bestgeradensteigung mit zugehöriger Gaußschen Fehlerabschätzung für den mittleren Fehler des Mittelwertes bzw. des Einzelwertes berechnet.

a. Meßergebnisse der einzelnen normalhörenden Patienten

Es zeigt sich, daß die einzelnen Meßpunkte der Tuningkurven der jeweiligen Patienten im Vertrauensintervall der Einzelmessungen liegen. Dies trifft sowohl für die Steigung m_u des linken als auch für die Steigung m_o des rechten Schenkels

der Tuningkurven, gemessen bei 500 Hz und 4000 Hz, zu.

b. Meßergebnisse der einzelnen normalhörenden Patienten untereinander

Betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Patienten untereinander, so stellt man fest, daß die Mittelwerte der Steigungen m_u und m_o der Patienten dieser Testgruppe fast ausschließlich im Vertrauensintervall um den Mittelwert aller normalhörenden Patienten liegen. Diese Ergebnisse sind in den Abbildungen 6 - 9 graphisch dargestellt.

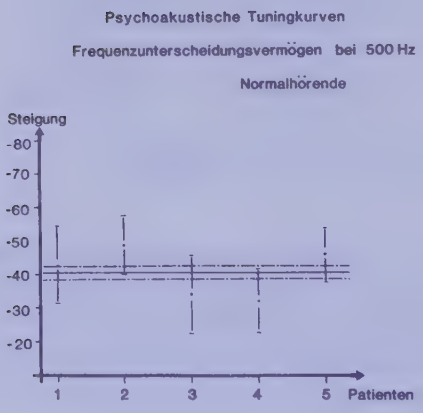


Abb. 6

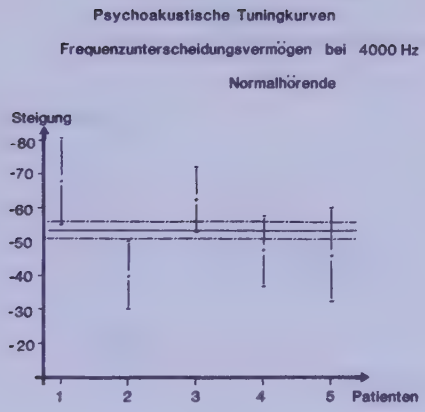

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 4000 Hz
Normalhörende
Steigung
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
1
2
3
4
5
Patienten

Abb. 7

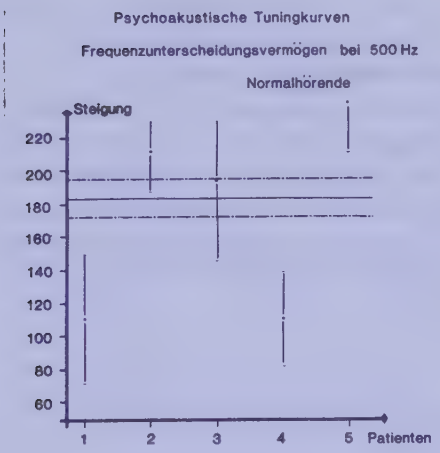

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 500 Hz
Normalhörende
Steigung
220
200
180
160
140
120
100
80
60
1
2
3
4
5
Patienten

Abb. 8

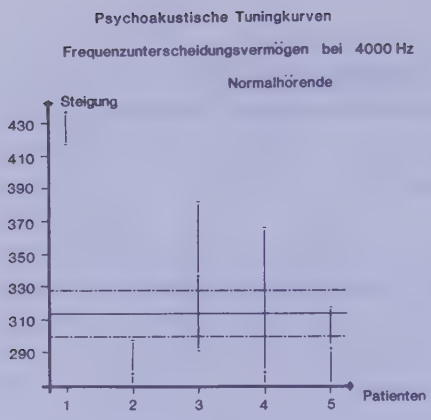


Abb. 9

c. Meßergebnisse der normalhörenden Patienten über die Meßzeit

Vergleicht man nun die Mittelwerte der Steigungen m_u und m_o der Tuningkurven über die Meßzeit verteilt, den Durchschnittswert zur Zeit 0 bis +4 Stunden, so zeigt sich, daß die Mittelwerte der Steigungen der normalhörenden Patienten alle im Vertrauensintervall liegen. Daraus folgt, daß keine signifikante Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens innerhalb von vier Stunden bei diesen Testpersonen festzustellen ist. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 10 bis 13 dargestellt.

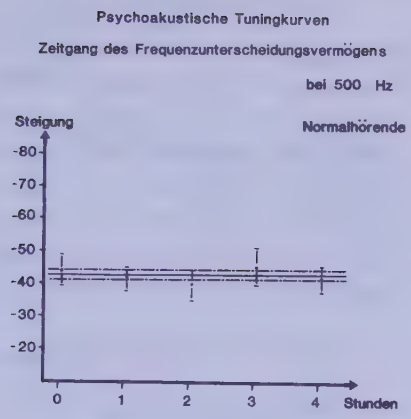

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 500 Hz
Steigung
Normalhörende
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 10

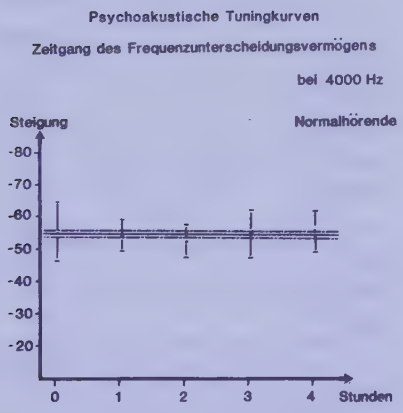

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 4000 Hz
Steigung
Normalhörende
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 11

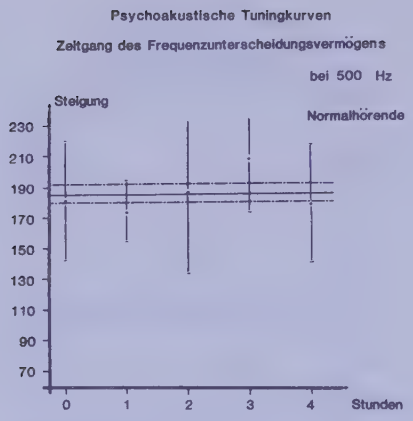

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 500 Hz
Steigung
Normalhörende
230
210
190
170
150
130
110
90
70
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 12

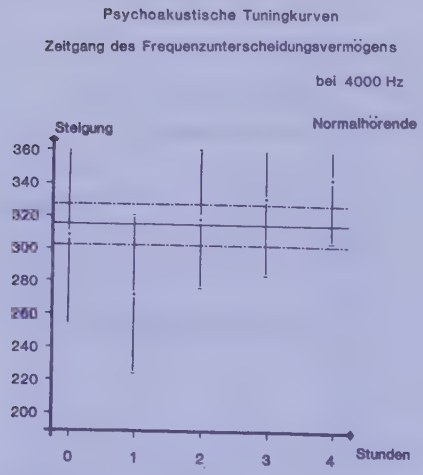

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 4000 Hz
Steigung
Normalhörende
360
340
320
300
280
260
240
220
200
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 13

d. Meßergebnisse der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o der normalhörenden Patienten

Die Auswertung der Einzelergebnisse der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o zeigen in dem vorgegebenen Meßverfahren keine signifikante Änderung. Die Mittelwerte ΔL_u und ΔL_o der normalhörenden Patienten wurden in den Abbildungen 14 bis 17 über die Zeit aufgetragen. Es zeigt sich, daß diese Werte über die Zeit von vier Stunden alle im Vertrauensintervall liegen und somit auch hier keine signifikante Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens vorliegt.

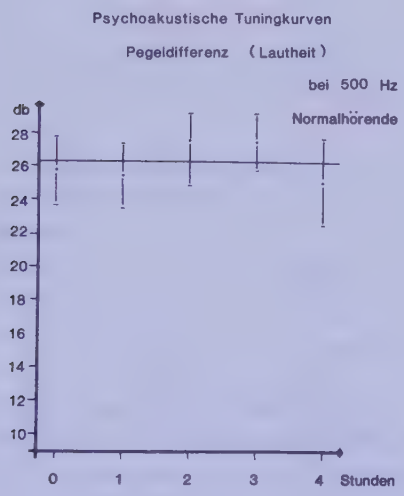


Abb. 14

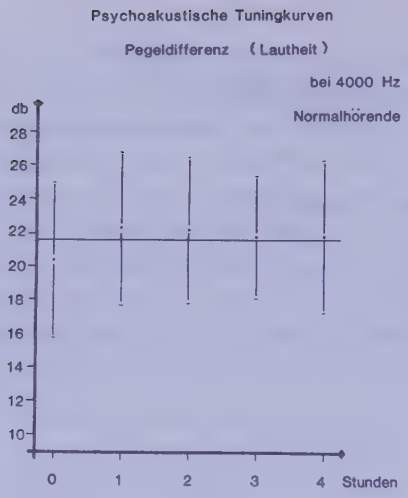

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 4000 Hz
Normalhörende
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 15

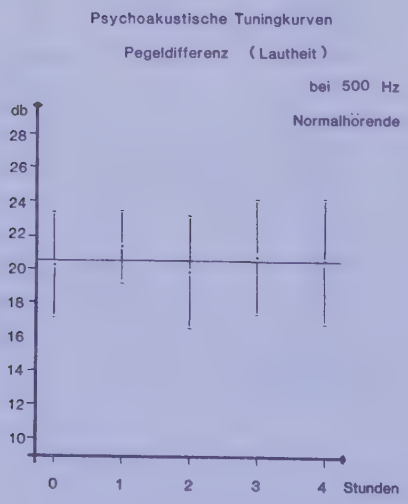

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 500 Hz
Normalhörende
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 16

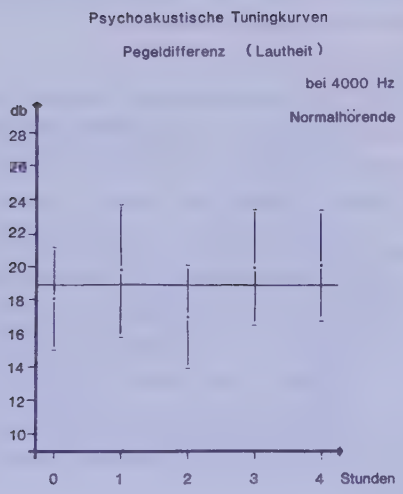


Abb. 17

Betrachtet man die Ergebnisse der so gewonnenen Meßreihen und Tuningkurven, so ist keine gerichtete Veränderung zu erkennen. Eine Änderung der Steigung m_u und m_o der Tuningkurven und auch der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o ist nach der Gabe von Glycerol nicht festzustellen. Eine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens unter Einfluß von Glycerol ist bei normalhörenden Probanden nicht nachweisbar.

2. AUSWERTUNG DER TONSCHWELLENAUDIOGRAMME UND DER PSYCHO-AKUSTISCHEN TUNINGKURVEN DER PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND NEGATIVEM GLYCEROLTEST.

2.1 Tonschwellenaudiogramm:

Der Verlauf der Hörschwelle im Tonschwellenaudiogramm zeigt über alle Messungen ein geringeres Hörvermögen. Die intra-individuellen Schwankungen sind unerheblich, sie zeigen einen nahezu identischen Verlauf.

Es fanden sich Patienten mit einseitigem, gering bis mittelgradigem Tieftonhörverlust. Der Hochtonhörverlust stellte sich bei diesen Patienten als nur geringgradig heraus. Kontrollmessungen des anderen Ohres zeigten den unter Kapitel " Normalhörende Patienten " beschriebenen Effekt.

Interindividuell dagegen sind erhebliche Unterschiede im Verlauf der Meßkurven der Tonschwellenaudiogramme festzustellen.

Eine Wirkung des Glycerols ist hier nicht zu beobachten, da ja, wie schon gesagt, die Hörschwelle in dieser Gruppe keine Veränderung aufweist. Eine Verminderung des Tinnitus aurium konnte nicht sicher festgestellt werden.

Das folgende Diagramm zeigt den Kurvenverlauf eines Patienten mit einseitig vermindertem Hörvermögen und den Einfluß von Glycerol in einer Dosis von 1,5 g Glycerol pro Kilogramm Körpergewicht.

Tonschwellenaudiogramm des Patienten T.v.H.
Messung vom 22. 12. 1982

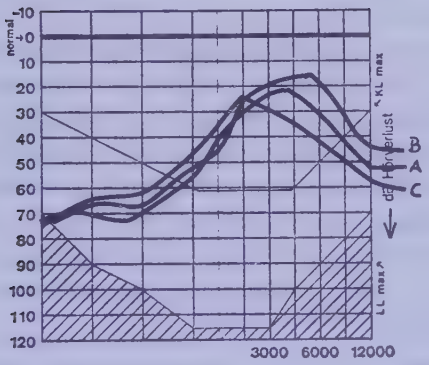


Abb. 18

A = Hörschwelle ohne Glycerol
B = Hörschwelle eine Stunde nach Gabe von Glycerol
C = Hörschwelle vier Stunden nach Gabe von Glycerol

2.2 Psychoakustische Tuningkurven der Patienten mit vermindertem Hörvermögen und negativem Glyceroltest im Tonschwellenaudiogramm

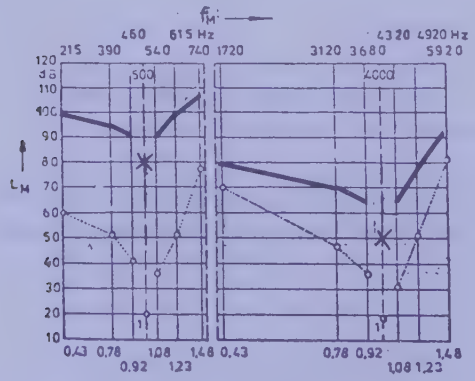
Die Auswertung der psychoakustischen Tuningkurven erfolgte nach den gleichen Kriterien wie bei den Testpersonen mit

gesundem Gehör.

Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf einer psychoakustischen Tuningkurve eines Patienten mit vermindertem Hörvermögen und der klassischen Trias der Einzelsymptome (Tinnitus, Schwindel, Hörverlust) wie sie für Morbus Menière typisch sind. Die geringere Steigung und die nach oben verschobene Kurve sind, verglichen mit den gesunden Patienten, deutlich zu erkennen. Da es sich um einen Tieftonverlust handelt, die psychoakustischen Tuningkurven bei 500 und 4000 Hz aufgenommen wurden, war zu prüfen, ob bei beiden Meßfrequenzen der psychoakustischen Tuningkurve ein ähnlicher Höranstieg wie beim Tonschwellenaudiogramm zu verzeichnen und ob eine Veränderung des Frequenzunterscheidungsvermögens in beiden Frequenzen zu messen war.

Das Diagramm zeigt die Tuningkurve eines Patienten mit Tieftonhörverlust auf dem rechten Ohr. Es ist nur eine Meßkurve eingezeichnet, da sich die Lage der Tuningkurven im Verlauf der Messung nicht änderte.

Tuningkurve des Patienten T.v.H.
Messung vom 22. 12. 1982



* Testton 15 dB über Hörschwelle

Abb. 19

Es zeigt sich, daß die Meßwerte in der Tuningkurve, bezogen auf das Lautheitshören, mit dem Tonschwellenaudiogramm sowohl bei 500 als auch bei 4000 Hz übereinstimmen.

Die Auswertung der Tuningkurven dieser Patienten erfolgte nach den gleichen Kriterien wie bei den Testpersonen mit normalem Gehör.

a. Meßergebnisse der einzelnen Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest
Es zeigte sich, daß die einzelnen Meßpunkte der Tuningkurven der jeweiligen Patienten im Vertrauensintervall der Einzelmessungen liegen. Dies trifft sowohl für die Steigung m_u des linken als auch für die Steigung m_o des rechten Schenkels der Tuningkurve, gemessen bei 500 und bei 4000 Hz, zu.

b. Vergleich der Meßergebnisse der Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest untereinander
Vergleicht man die Mittelwerte der einzelnen Patienten untereinander, so stellt man fest, daß die Mittelwerte der Steigungen m_u und m_o der Patienten dieser Testgruppe fast ausschließlich im Vertrauensintervall um die mittlere Steigung aller Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest liegen. Die Meßergebnisse dieser Testgruppe sind in den Abbildungen 20 bis 23 dargestellt.

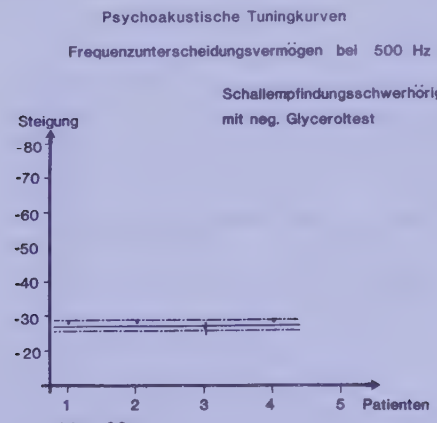


Abb. 20

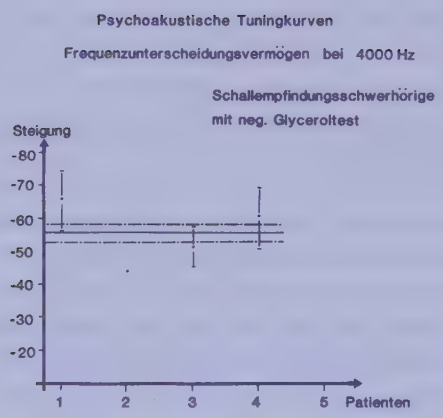

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 4000 Hz
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
Steigung
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
1
2
3
4
5
Patienten

Abb.21

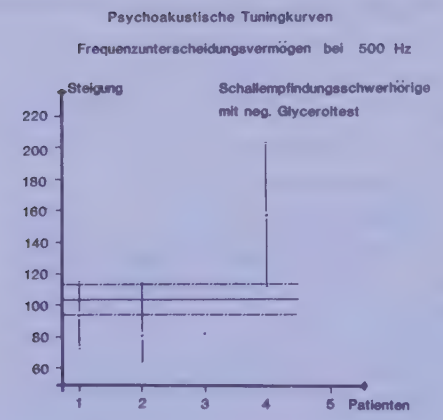

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 500 Hz
Steigung
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
220
200
180
160
140
120
100
80
60
1
2
3
4
5
Patienten

Abb. 22

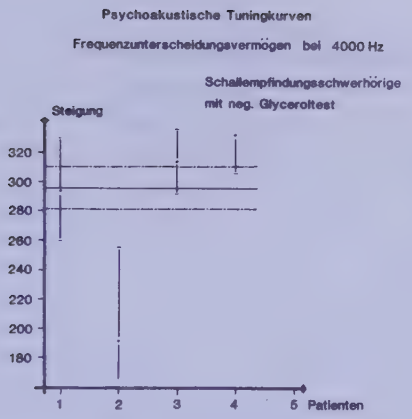


Abb. 23

c. Vergleich der Meßergebnisse der Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest in Abhängigkeit von der Zeit

Betrachtet man die Mittelwerte der Steigungen m der Patienten dieser Gruppe über die Meßzeit, läßt sich keine signifikante Änderung der Werte m_u und m_o feststellen. Aus den Werten von m_u und m_o kann man ersehen, daß keine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens meßbar wird. Diese Ergebnisse sind in den Diagrammen 24 bis 27 zusammengefaßt. Dies gilt sowohl für den rechten als auch für den linken Schenkel der Tuningkurven.

Psychoakustische Tuningkurven

Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens

bei 500 Hz

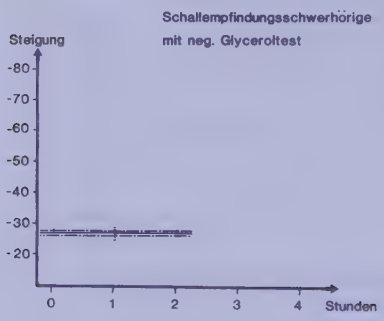


Abb. 24

Psychoakustische Tuningkurven

Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens

bei 4000 Hz

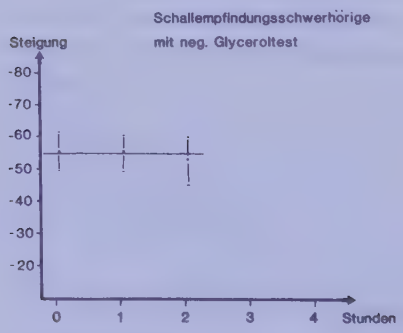


Abb. 25

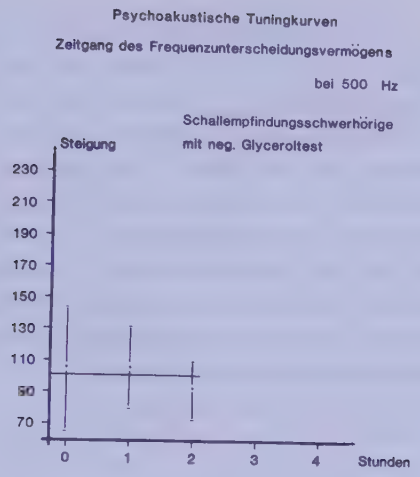

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 500 Hz
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
Steigung
230
210
190
170
150
130
110
90
70
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 26

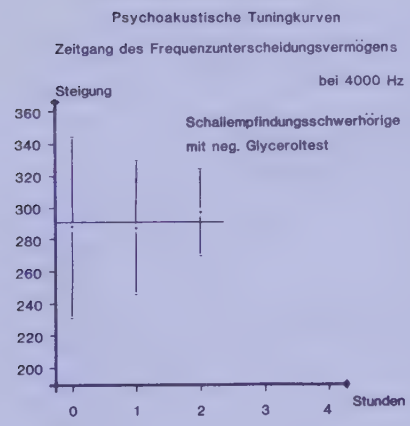

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 4000 Hz
Steigung
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
360
340
320
300
280
260
240
220
200
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 27

d. Meßergebnisse der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o der Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest
Die Auswertung der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o der einzelnen Patienten dieser Testgruppe zeigt keine richtungsgebende Änderung. Alle ΔL Werte liegen im Vertrauensintervall der Messungen. In den Abbildungen 28 bis 31 sind die Durchschnittswerte der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o in Abhängigkeit von der Meßzeit aufgetragen. Man erkennt keine signifikante Änderung nach der Gabe von Glycerol. Eine Veränderung des Frequenzunterscheidungsvermögens läßt sich aus diesen Meßwerten nicht ablesen.

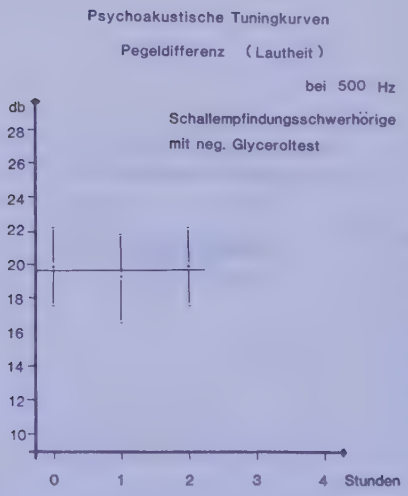


Abb. 28

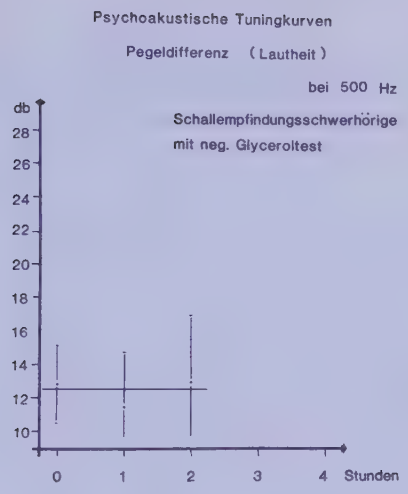

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 500 Hz
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 29

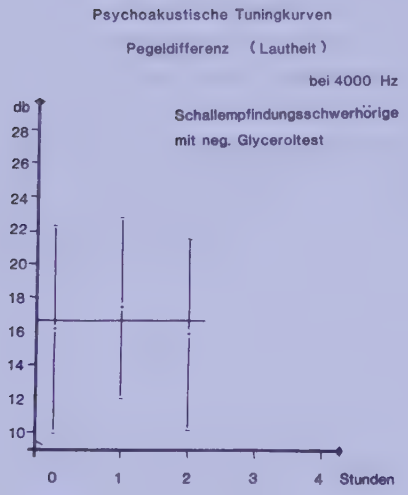

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 4000 Hz
Schallempfindungsschwerhörige
mit neg. Glyceroltest
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 30

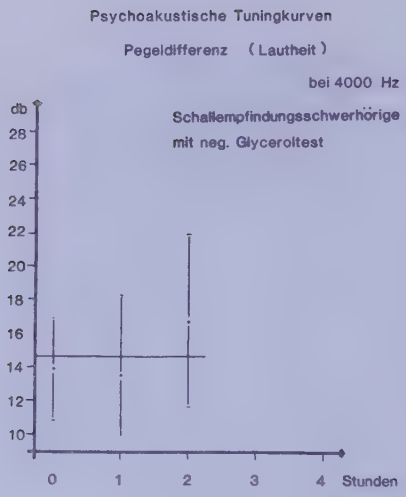


Abb. 31

Betrachtet man die so erstellten Tuningkurven und die Meßwerte der Pegeldifferenzen, so ist bei den Patienten mit Morbus Menière und negativem Glyceroltest keine gerichtete Veränderung im Frequenzunterscheidungsvermögen zu erkennen. Da auch die Messungen in Abhängigkeit von der Zeit keine Änderung zeigen, sind auch hier ein Lerneffekt oder eine Ermüdung auszuschließen.

Somit kann man den Schluß ziehen, daß sowohl bei Patienten mit normalem Tonschwellenaudiogramm als auch bei Patienten mit Hörverlust ohne fluktuierendem Gehör eine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens mittels psychoakustischer Tuningkurve nicht meßbar ist.

3. AUSWERTUNG DER TONSCHWELLENAUDIOGRAMME UND DER PSYCHOAKUSTISCHEN TUNINGKURVE DER PATIENTEN MIT MORBUS MENIERE UND POSITIVEM GLYCEROLTEST

3.1 Tonschwellenaudiogramm:

Die Tonschwellenaudiogramme dieser Patientengruppe zeigen einen deutlichen Gegensatz gegenüber den Tonschwellenaudiogrammen der beiden vorangegangenen Patientengruppen. Hier kann man nach der Gabe von Glycerol eine deutliche Verbesserung des Hörvermögens mit einem Anstieg der Hörschwelle um 15 bis 20 dB in mindestens drei benachbarten Frequenzen erkennen.

Das folgende Diagramm zeigt den Kurvenverlauf der Tonschwellenmessung eines Patienten mit vermindertem Hörvermögen und einer Verbesserung desselben nach Applikation von Glycerol. Es ist deutlich der Anstieg der Hörschwelle nach Gabe von 1,5 g Glycerol pro Kilogramm Körpergewicht des Testpatienten nach einer Stunde zu erkennen und der Rückgang des Hörvermögens im Verlauf der nächsten vier Stunden. Hier zeigt sich das typische Verhalten eines fluktuierenden Gehörs. Hieran sieht man, daß die Haarzellen nicht zerstört sind. Ebenso wurde bei diesen Patienten eine gleichzeitige Verminderung des Tinnitus aurium beobachtet.

Tonschwellenaudiogramm des Patienten H.

Messung vom 27. 12. 1982

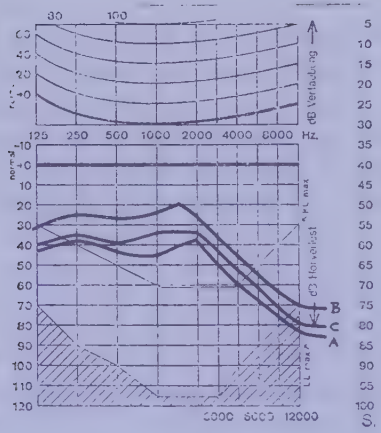


Abb. 32

A = Hörschwelle ohne Glycerol

B = Hörschwelle eine Stunde nach Gabe von Glycerol

C = Hörschwelle vier Stunden nach Gabe von Glycerol

3.2 Psychoakustische Tuningkurven:

Die Auswertung der psychoakustischen Tuningkurven erfolgte nach den gleichen Kriterien wie bei den Testpersonen mit gesundem Gehör und den Patienten mit Morbus Menière und

negativem Glyceroltest.

Das folgende Diagramm zeigt den Kurvenverlauf einer psychoakustischen Tuningkurve des Patienten M.H. mit vermindertem Hörvermögen und positivem Glyceroltest. Das fluktuierende Gehör ist am Anstieg des Hörvermögens von 10 bis 15 dB zu erkennen. Im Tieftonbereich, Freuqenz des Testtones 500 Hz, ist die Hörschwelle des Testtones um 15 dB angehoben. Diese Werte entsprechen den Messungen im Tonschwellenaudiogramm. Im Hochtonbereich, Frequenz des Testtones 4000 Hz, ist der Anstieg ebenso wie im Tonschwellenaudiogramm 10 dB.

Tuningkurve des Patienten M.H.
Messung vom 27. 12. 1982

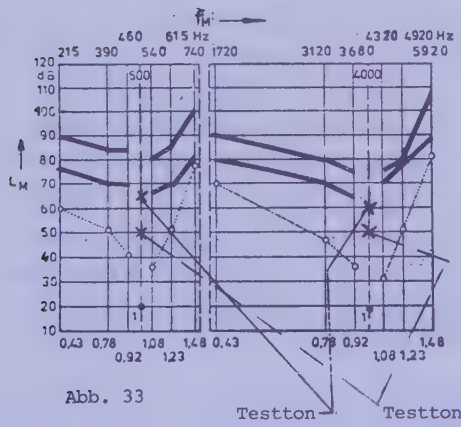


Abb. 33

Die oberen Kurven zeigen den Verlauf ohne Einwirkung von Glycerol. Die gepunktete Kurve zeigt als Vergleich den Normverlauf von gesunden Patienten.

Nach der Gabe von Glycerol verschieben sich die Meßkurven nach unten, was eine Verbesserung des Hörvermögens in der Lautheit des dargebotenen Testtones anzeigt.

Es ist nun zu klären, ob diese Veränderungen auch einen Einfluß auf das Frequenzunterscheidungsvermögen haben. Betrachtet man die Tuningkurven, so fällt sofort die Parallelverschiebung der Kurven zum besseren Hörvermögen hin auf.

Um eine Aussage über das Frequenzunterscheidungsvermögen machen zu können, wurde wie schon bei den beiden ersten Testgruppen verfahren. Es wurde wieder die Bestgeradensteigung mit der dazugehörenden Fehlerabschätzung berechnet.

a. Meßergebnisse der einzelnen Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest
Es zeigt sich, daß die Meßpunkte, die die Steigung der Tuningkurven der jeweiligen Patienten bestimmen, jeweils im Vertrauensintervall der Einzelmessungen liegen.

Bei den Patienten dieser Testgruppe haben sich zwar die Schenkel der Tuningkurven im Sinne einer Hörverbesserung verschoben, doch hat sich an den absoluten Werten der Steigungen m_u und m_o , sowohl bei 500 als auch bei 4000 Hz, nichts verändert.

b. Vergleich der Meßergebnisse der einzelnen Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest untereinander
Vergleicht man die Durchschnittswerte der Steigungen m_u

und m_o , gemessen bei 500 und 4000 Hz, der Patienten dieser Testgruppe untereinander d.h. Mittelwert der Steigungen von Patient eins bis Patient fünf dieser Testgruppe, so ist ein Höranstieg nach Applikation von Glycerol nicht zu beobachten. Dies muß jedoch so sein, da hier ja nur die absoluten Werte von m_u und m_o berücksichtigt wurden.

Diese Ergebnisse sind in den Abbildungen 34 bis 37 zusammengefaßt. Eine Steigungsänderung im Sinne einer Veränderung des Frequenzunterscheidungsvermögens war nicht zu beobachten.

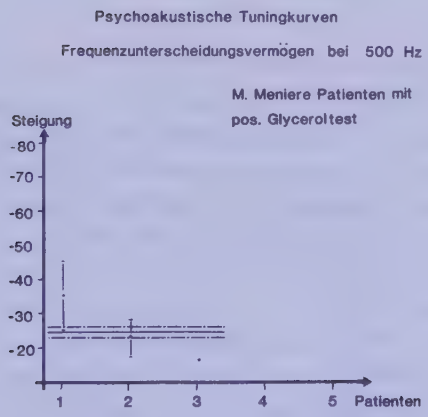


Abb. 34

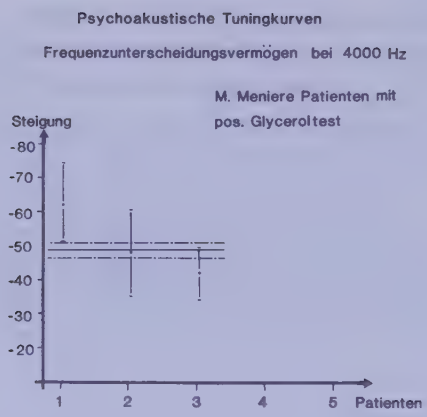

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 4000 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
Steigung
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
1
2
3
4
5
Patienten

Abb. 35

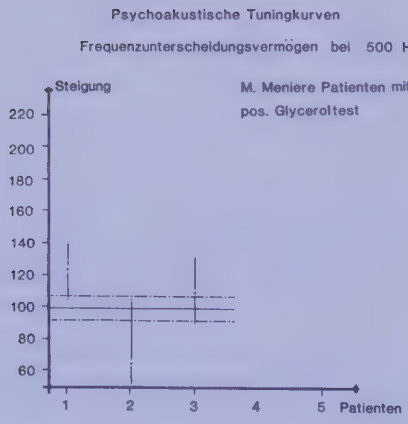

Psychoakustische Tuningkurven
Frequenzunterscheidungsvermögen bei 500 Hz
Steigung
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
220
200
180
160
140
120
100
80
60
1
2
3
4
5
Patienten

Abb. 36

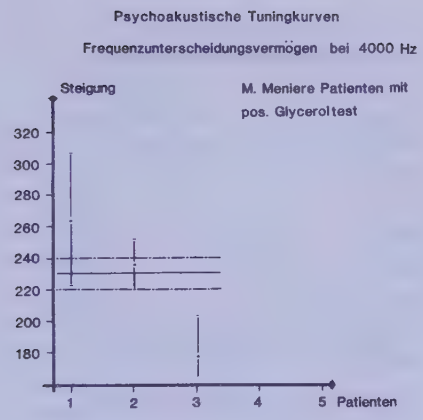


Abb. 37

c. Meßergebnisse der Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest in Abhängigkeit von der Zeit

Betrachtet man die mittleren Steigungswerte der Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest über die Meßzeit verteilt, das heißt Durchschnittswert zur Zeit 0 bis +4 Stunden, so zeigt sich, daß die mittlere Steigung der Tuningkurven der Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest auch in dieser Meßreihe im Vertrauensintervall der Messung liegt. Es ist hier im Gegensatz zum Tonschwellenaudiogramm, mit Höranstieg in der ersten Stunde nach Glycerolgabe, keine signifikante Änderung im Frequenzunterscheidungsvermögen innerhalb von vier Stunden bei diesen Testpatienten festzustellen. Diese Ergebnisse sind in den Abbildungen 38 bis 41 graphisch dargestellt.

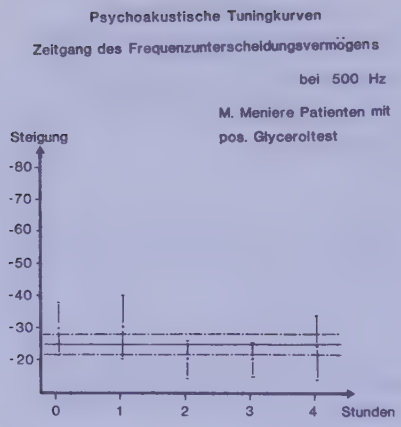

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 500 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
Steigung
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 38

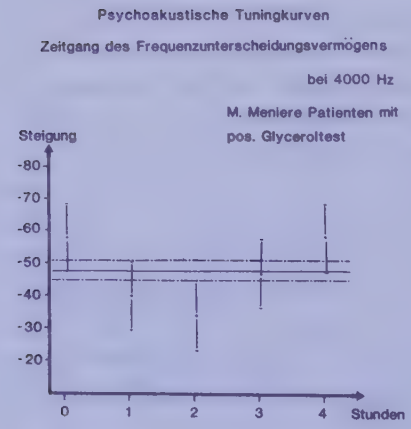

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 4000 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
Steigung
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 39

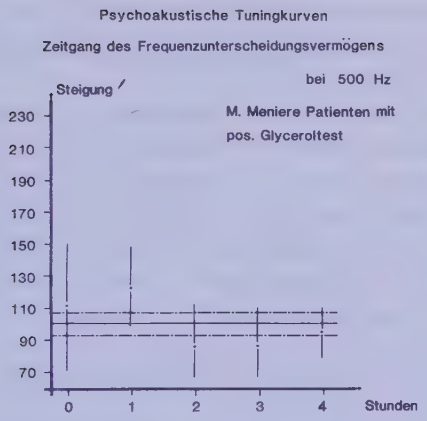

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 500 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
Steigung
230
210
190
170
150
130
110
90
70
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 40

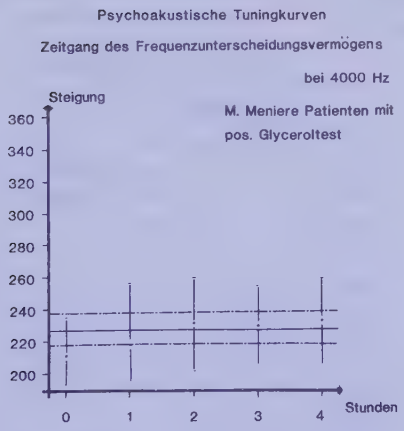

Psychoakustische Tuningkurven
Zeitgang des Frequenzunterscheidungsvermögens
bei 4000 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
Steigung
360
340
320
300
280
260
240
220
200
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 41

d. Meßergebnisse der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o der Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Pegeldifferenzen ist zu beachten, daß die Tuningkurven sich nach der Gabe von Glycerol im Sinne einer Anhebung des Hörvermögens verschieben. Da sich der Testton jedoch in der gleichen Größenordnung wie die Schenkel der Tuningkurven und auch in der gleichen Richtung verlagert, ändert sich somit nichts im Bereich der Spitzenregion der Tuningkurven. Die Werte der Einzelergebnisse der Pegeldifferenzen ΔL_u und ΔL_o zeigen untereinander keine signifikante Abweichung.

In den Abbildungen 42 bis 45 sind die Mittelwerte von ΔL_u und ΔL_o dieser Patientengruppe in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Es ist keine signifikante Änderung der Frequenzselektion nach der Gabe von Glycerol zu erkennen. Eine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens liegt hier nicht vor.

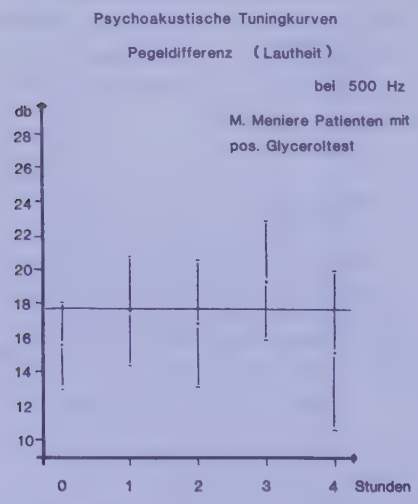


Abb. 42

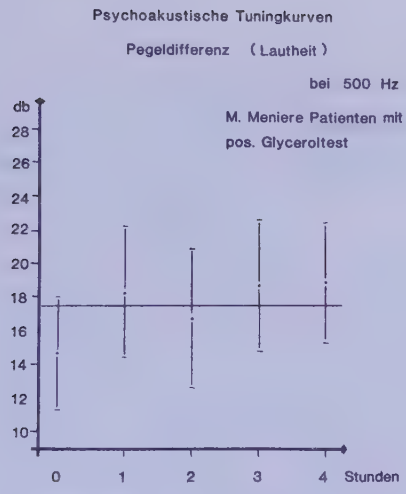

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 500 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 43

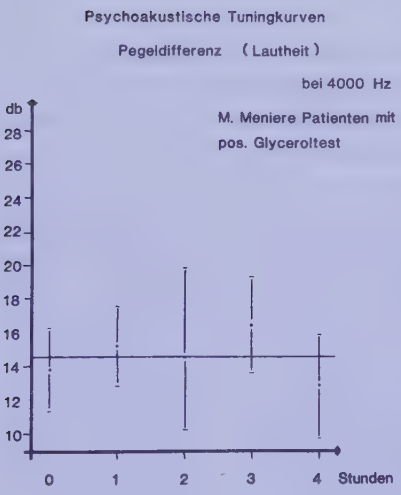

Psychoakustische Tuningkurven
Pegeldifferenz (Lautheit)
bei 4000 Hz
M. Meniere Patienten mit
pos. Glyceroltest
db
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
1
2
3
4
Stunden

Abb. 44

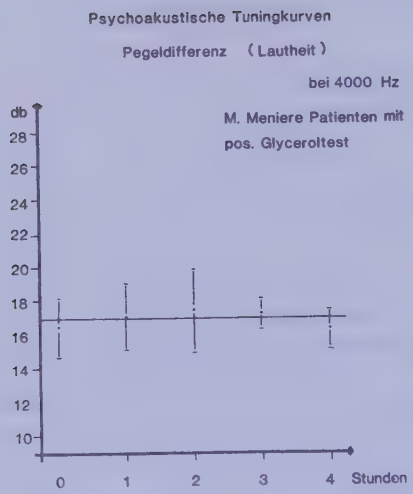


Abb. 45

Faßt man die so gewonnenen Ergebnisse zusammen,zeigt sich auch bei dieser Patientengruppe mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest keine Veränderung im Frequenzunterscheidungsvermögen. Die Verlagerung der Tuningkurve im Sinne einer Verbesserung des Hörvermögens ist lediglich als Parallelverschiebung ohne Änderung der Steigungen m_u und m_o zu werten. Ein Lerneffekt oder eine Ermüdung bei diesen Testpatienten ist nicht nachweisbar.

4. PATIENT MIT BILATERAL FLUKTUIERENDEM GEHÖR

Auswertung der Tonschwellenaudiogramme und der psychoakustischen Tuningkurven einer Patientin mit bilateral fluktuierendem Gehör.

4.1 Tonschwellenaudiogramme:

Der Verlauf der Tonschwellenaudiogramme zeigt bei dieser Patientin sowohl auf dem linken als auch auf dem rechten Ohr einen überdurchschnittlichen Anstieg des Hörvermögens nach der Applikation von 1,5 g Glycerol pro Kilogramm Körpergewicht. Der Anstieg fällt mit 20 bis 40 dB weit größer aus als der durchschnittliche Anstieg bei Patienten mit Morbus Menière. Eine weitere Besonderheit dieser Patientin besteht in dem beidseitig fluktuierendem Gehör. Auch wurde in diesem Falle nach Lumbalpunktion ein Höranstieg auf beiden Ohren beobachtet.

Abbildung 46 zeigt die Meßergebnisse der Tonschwellenaudiogramme dieser Patientin.

Messung vom 5. 1. 1983

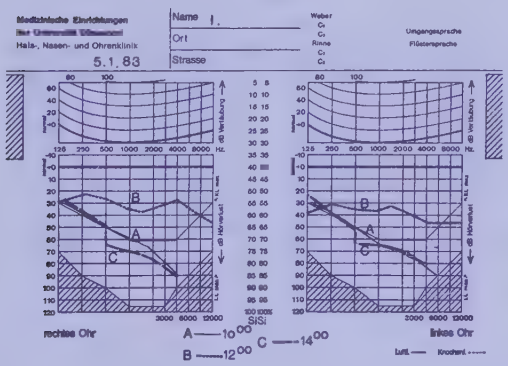


Abb. 46

4.2 Psychoakustische Tuningkurven:

Die Auswertung der psychoakustischen Tuningkurven dieser Patientin erfolgte wieder nach den gleichen Kriterien. Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf der psychoakustischen Tuningkurve dieser Patientin unter dem Einfluß von Glycerol. Eine Verschiebung zum besseren Hörvermögen hin ist besonders gut auf dem linken Ohr zu beobachten. Auf dem rechten Ohr ist eine Änderung zum besseren Hörvermögen hin nicht zu sehen. Es tritt hingegen sogar eine Verschlechterung um etwa 10 dB ein. Dieser Effekt wurde bei keinem anderen Patienten beobachtet. Es fällt auch auf, daß der auf Grund des Tonschwellenaudiogramms erwartete große Höranstieg in der Tuningkurve in dieser Größenordnung nicht eintrat und daß er auf dem rechten Ohr der Patientin sogar ganz ausblieb.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Tuningkurve dieser Patientin.

Messung vom 5. 1. 1983

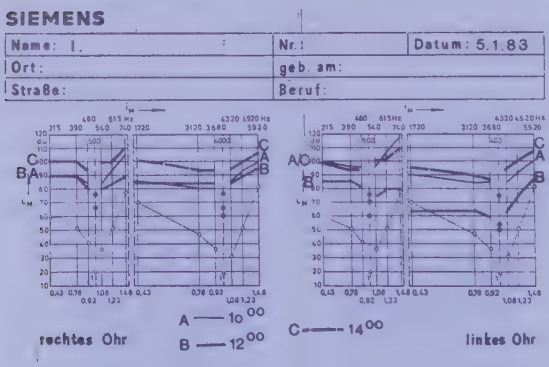


Abb. 47

Um auch bei dieser Patientin eine Aussage über eine mögliche Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens machen zu können, wurde auch hier zunächst eine Bestgeradenberechnung mit zugehöriger Fehlerabschätzung durchgeführt. Es konnte lediglich eine nahezu parallel verschobene Tuningkurve, wie schon bei den schwerhörenden Patienten mit positivem Glyceroltest beobachtet, nachgewiesen werden. Eine signifikante Änderung der Geradensteigerungen m_u und m_o trat nach Applikation von Glycerol nicht ein.

Die Auswertung der Ergebnisse der Pegeldifferenzen $\triangle L_u$ und $\triangle L_o$ zeigt nach der Gabe von Glycerol auch keine signifikante Abweichung von den Ausgangswerten. Es hat bei dieser Patientin keine Veränderung des Frequenzunterscheidungsvermögens stattgefunden.

IV. DISKUSSION

Die Eigenschaft des menschlichen Ohres, Frequenzen von weniger als 0,5 Hz bei 1000 Hz zu unterscheiden, ist eine der spezifischen Leistungen des Innenohres und oft Gegenstand von physikalischen und theoretischen neurophysiologischen Diskussionen gewesen.

Die bisherige Lehrmeinung ging davon aus, fußend auf den Untersuchungen von von Békésy und Ranke, daß eine Frequenzdispersion durch das Auftreten von einer Wanderwelle in der Scala vestibuli dazu führe, daß ein Amplitudenmaximum dort auftritt, wo die spezifische Frequenz auf der Basilarmembran abgebildet wird. Aus den spezifischen Eigenschaften der Wanderwelle und der mechanischen und elastischen Eigenschaften der Basilarmembran resultiere, daß hohe Frequenzen basisnah und niedrige Frequenzen in der Gegend des Helicotremas abgebildet werden.

Die Basilarmembran unterscheidet sich erstens in ihrer Elastizität und zweitens im Innervationsmuster zwischen Schneckenbasis und Schneckenspitze. Im Bereich der Schneckenbasis sind sehr viel mehr Nervenfasern auf dem gleichen Raum verteilt als an der Schneckenspitze. Die insgesamt 13 000 bis 19 800 äußeren Haarzellen und 3 500 bis 3 600 (8) inneren Haarzellen reichen nicht aus, um das Frequenzunterscheidungsvermögen ganz zu erklären, da mit jedem Amplitudenmaximum nicht nur eine Haarzelle, sondern ein ganzes Bündel von Haarzellen erregt wird.

Das Frequenzunterscheidungsvermögen ist sehr viel besser als es die mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran vermuten lassen, und es wurde deshalb zusätzlich zu den mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran eine neuronale Verschärfung des

Frequenzunterscheidungsvermögens postuliert. Diese neuronale Verschärfung des Frequenzunterscheidungsvermögens ist als Second-Filter in die Literatur eingegangen.

In den Jahren 1978 und 1980 haben Sellick und Russel (15) durch Einzelzellableitung der inneren Haarzellen nachweisen können, daß das hohe Frequenzunterscheidungsvermögen bereits in der inneren Haarzelle festzustellen ist und daß eine Verschärfung des Frequenzunterscheidungsvermögens im Bereich der aufsteigenden Hörbahn für die hohe Frequenzselektivität des menschlichen Ohres nicht notwendig ist. Sie postulierten, daß das Second-Filter entweder auf der Basilarmembran oder auf der Strecke zwischen Basilarmembran und innerer Haarzelle zu lokalisieren ist.

Johnstone und Robinson (12) haben bei Experimenten an der Meerschweinchen-Cochlea nachgewiesen, daß bei Erhöhung des perilymphatischen und des endolymphatischen Druckes eine Änderung der Tuningkurve eintritt, mit anderen Worten, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen bereits durch die mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran bestimmt und nicht durch neuronale Einflüsse verstärkt wird.

Die Untersuchungen am endolymphatischen Hydrops zeigen, daß durch akute Änderung des Volumens der Scala media und durch Änderung der mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran eine Änderung im Lautheitsempfinden des menschlichen Ohres zu erzeugen ist, wenn man dem Organismus Glycerol zuführt.

Glycerol bewirkt durch Wasserentzug der Endolymphe eine Senkung des endolymphatischen Druckes. Dies führt zu 70% in Fällen mit Erweiterung des Endolymphraumes zu einem Anstieg der Hörschwelle um 15 dB in drei benachbarten Frequenzen. Die Frage

nach dem Second-Filter läßt sich an diesem Modell beantworten, da erstens das Volumen der Endolymphe, zweitens der Druck im Endolymphraum und drittens die mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran durch Glycerol akut verändert werden, was sich in einer Änderung der Tonschwelle bemerkbar macht. Dadurch kann man prüfen, ob bereits mechanische Änderungen der Basilarmembran zu einer Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens führen oder ob das zweite Filter zwischen Basilarmembran und innerer Haarzelle lokalisiert ist.

Die Untersuchungen an normalhörenden Patienten ohne Erweiterung des Endolymphraumes als Kontrollgruppe sollten zunächst die Wirkung auf die Lautheit und auf das Frequenzunterscheidungsvermögen derart prüfen, ob eine Änderung sowohl der Lautheit als auch des Frequenzunterscheidungsvermögens durch Glycerol zu erzeugen ist.

Zur Bestimmung des Frequenzunterscheidungsvermögens wurde die von Zwicker und Schorn angegebene Methode zur Aufnahme von psychoakustischen Tuningkurven verwendet; andere Methoden des Frequenzunterscheidungsvermögens kamen nicht zur Anwendung.

Bei Normalhörenden war sowohl im Tonschwellenaudiogramm als auch bei den psychoakustischen Tuningkurven eine gerichtete, das Ausmaß der normalen Streubreite überschreitende, Verbesserung des Hörvermögens nicht festzustellen. Die Messungen zum Frequenzunterscheidungsvermögen sowohl für eine Testfrequenz von 500 Hz als auch von 4000 Hz erbrachten keinen Hinweis auf eine Änderung des Frequenzselektionsvermögens. Damit war die erste Voraussetzung für die Messungen am endolymphatischen Hydrops, daß Normalhörende keinerlei gerichtete Veränderungen aufwiesen, gegeben.

Die zweite Voraussetzung für die Anwendung der Methode des Frequenzunterscheidungsvermögens ist eine Gruppe von Patienten, die einen Hörverlust aufweisen und deren Lautheitsempfinden sich nach Gabe von Glycerol nicht ändert. Diese Patienten mit Morbus-Menière-Symptomatik, jedoch keinem Lautheitsanstieg, wurden bezüglich ihres Frequenzunterscheidungsvermögens geprüft. Dabei zeigte sich, daß sowohl für 500 Hz als auch für 4000 Hz eine Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens, gemessen an den vier Parametern (Steigung m_u, m_o, Pegeldifferenz $\triangle L_u$, $\triangle L_o$) der psychoakustischen Tuningkurve, keine gerichtete Veränderung aufwies. Damit war gezeigt, daß das Frequenzunterscheidungsvermögen sich bei Schwerhörigkeiten geringen, mittleren und hochgradigen Ausmaßes nach Glycerol nicht ändert. Dies läßt den Schluß zu, daß in dieser Gruppe keine Änderungen der mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran durch Einwirkung von Glycerol entstehen.

In einer weiteren Gruppe von Patienten wurden im Tonschwellenaudiogramm Anhebungen der Hörschwelle von durchschnittlich 10 bis 15 dB nach Gabe von 1,5 g Glycerol pro Kilogramm Körpergewicht eine Stunde nach Einnahme registriert und parallel die psychoakustische Tuningkurve aufgenommen. Die Tonschwelle kehrte nach etwa vier Stunden auf den Ausgangswert zurück. Bei den psychoakustischen Tuningkurven ließ sich sowohl für 500 Hz als auch für 4000 Hz (Tieftonschwerhörigkeit bei Morbus Menière) keine Änderung in allen vier Parametern zur Charakterisierung des Frequenzunterscheidungsvermögens feststellen. Damit war das Ergebnis gewonnen, daß Lautheitsanstieg und Frequenzunterscheidungsvermögen unabhängig voneinander durch Mechanismen im Innenohr geändert werden können.

Abschließend war der Einfluß des intrakraniellen Liquordruckes auf die Funktionsweise des Innenohres, ähnlich den Versuchen von Johnstone und Robinson, zu prüfen. Dazu diente eine Patientin mit bilateral fluktuierendem Gehör und offenem Aquaeductus cochleae, die nach Lumbalpunktion jeweils einen Höranstieg um 30 bis 40 dB im Tonschwellenaudiogramm aufwies. Bei der Glycerolbelastungsprobe konnte im Tonschwellenaudiogramm bei 500 Hz und 4000 Hz ein unterschiedlicher Höranstieg gemessen werden, der im Tonschwellenaudiogramm das Ausmaß des Anstieges der psychoakustischen Tuningkurve deutlich überstieg. Das Frequenzunterscheidungsvermögen, gemessen an den vier Parametern, ergab ebenfalls keine gerichtete Änderung des Frequenzunterscheidungsvermögens, so daß die experimentellen Versuche von Johnstone und Robinson am menschlichen Ohr, bezüglich des perilymphatischen Druckes, nicht bestätigt werden können. Dies mag nun daran liegen, daß die angewandten Drucke bei Johnstone und Robinson sehr viel höher lagen als es der Änderung des Druckes im Endo- bzw. Perilymphraum nach Glycerol entspricht.

Yoshida und Lowry (20) haben eine Abnahme des intra-endolymphatischen Druckes von 3,0 auf 1,2 mm/Hg nach Gabe von Glycerol gemessen. Das zeigt, daß nur sehr geringe Druckschwankungen im Endolymphraum nach Glycerol zu erwarten sind. Johnstone und Robinson haben ihre Änderungen im Frequenzunterscheidungsvermögen zum einen durch Ableitung der Tuningkurve am Nucleus cochlearis, zum anderen durch Messungen der Auslenkung der Basilarmembran mit Hilfe des Mösbauer-Effektes gewonnen. Beide Methoden sind sehr aufwendig und nicht ohne methodische Schwierigkeiten durchführbar. Andererseits müssen wir sagen, daß die psychoakustischen Tuningkurven, so wie sie von Zwicker und Schorn verwendet wurden, nur relativ grobe Unterscheidungen der

Frequenzselektivität des menschlichen Ohres zulassen.

Damit lassen unsere Untersuchungsergebnisse zwei Erklärungen zu. Zum einen, daß tatsächlich ein zweites Filter zwischen Basilarmembran und innerer Haarzelle besteht, wie erst kürzlich von Evans und Wilson (3) postuliert wurde, zum anderen, daß die psychoakustischen Tuningkurven für die Bestimmung der Frequenzselektivität zu ungenau sind, um Aussagen über die mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran des Menschen machen zu können. Es sollten deshalb andere Meßmethoden der Frequenzunterscheidung unter den gleichen Bedingungen des Glyceroltestes beim Morbus Menière diese Frage beantworten helfen.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Beantwortung der Frage, ob das Frequenzunterscheidungsvermögen des menschlichen Ohres durch mechanische Eigenschaften der Basilarmembran oder durch neuronale Filter bestimmt wird, wurden psychoakustische Tuningkurven bei Patienten mit Morbus Menière und positivem Glyceroltest in der Weise erstellt, daß parallel zum Anstieg des Hörvermögens (Anstieg der Lautheit im Tonschwellenaudiogramm) das Frequenzunterscheidungsvermögen bestimmt wurde. In Kontrollgruppen war ein Einfluß des Glycerols sowohl bei Normalhörenden als auch bei Schallempfindungsschwerhörigkeiten auf das Frequenzunterscheidungsvermögen ausgeschlossen worden. Die Untersuchungen zeigten, daß bei einem Anstieg der Lautheit um 15 bis 20 dB nach Glycerol eine Änderung der Frequenzselektion des menschlichen Ohres, gemessen an psychoakustischen Tuningkurven, nicht festgestellt werden konnte. Dies läßt einerseits den Schluß zu, daß eine vollständige Auflösung der Schallfrequenzen auf der Basilarmembran des menschlichen Ohres nicht erfolgt und daß ein zweites Filter zwischen Basilarmembran und innerer Haarzelle existiert. Dies ist umso wahrscheinlicher, da die experimentellen Befunde von Patuzzi et. al. (12) sich nicht haben bestätigen lassen. (3) Andererseits besteht die Möglichkeit, daß unsere Methode zur Messung der psychoakustischen Tuningkurve zu ungenau ist, um feine Unterscheidungen der Frequenzselektion zu messen.

LITERATUR

(1) v.Békésy,G. :
Zur Theorie des Hörens. Die Schwingungsform der Basilarmembran.
Physik.Zeitschr. 1928 (793-810)

(2) v.Békésy,G. :
Zur Theorie des Hörens.Über die Bestimmung des einen reinen Tonempfinden entsprechenden Erregungsgebietes der Basilarmembran vermittels Ermüdungserscheinungen.
Physik.Zeitschr. 1929 (115-125)

(3) Evans E.F., Wilson J.P.:
European meeting on animal models in otolaryngology. Bordeaux 1-3 Sept. 1983

(4) Kay R.H.:
The physiology of auditory frequency analysis.
In:Progress in Biophysics and Molecular Biology Bd.28 hrsg. von J.A.V. Butler, D. Noble
Pergamon Press Oxford 1974

(5) Keidel,W.D., Kallert,S.:
Physiologie des afferenten akustischen Systems.
Hals-Nasen-Ohrenheilkunde in Praxis und Klinik Bd. 5 Thieme 1979 (8.1-8.133)

(6) Klockhoff,I., Lindblom,U.:
Endolyphatic hydrops revealed by glyceroltest.
Acta oto-larg. 61 1966 (459-462)

(7) Klockhoff,I., Lindblom,U.:
Glyceroltest in Menière's disease.
Acta oto-larg. 224 1967 (449-451)

(8) Kolmer,W.:
Das Gehörorgan.
In: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen. Bd. III Springer 1927 (250)

(9) Langenbeck,B.:
Lehrbuch der praktischen Audiometrie
3. Aufl. Thieme 1963

(10) Leshowittz,B.H., Lindstrom,R.:
Measurements of nonlinearities in listeners with sensorineural hearing loss
In: Psychophysiology of hearing (283-292)
Eds.: Evans,E.F., Wilson,J.P.
Academic Press 1977

(11) Oetinger,R.:
Die Grenzen der Hörbarkeit von Frequenz-und Tonzahländerungen bei Tonimpulsen
Acustica 9 1959 (430-434)

(12) Patuzzi,R., Sellick,P.M., Johnstone,B.M.:
Cochlear drainage and basilar membrane tuning
In: J. acoust. soc. 72(3) 1982

(13) Ranke,O.F.:
Die Gleichrichter-Resonanztheorie.
Habil.-Schrift München 1931

(14) Russel,I.J., Sellick,P.M.
The tuning properties of cochlear hair cells.
In: Psychophysics and Physiology of Hearing,
hrsg. von E.F.Evans, J.P.Wilson
Academic Press London 1977

(15) Russel,I.J., Sellick,P.M.:
Intracellular studies of hair cells in the
mammalian cochlea.
Journal of physiology 1978 (261-290)

(16) Schorn,K., Wurzer,H., Zollner,M.,Zwicker,E.:
Die Bestimmung des Frequenzselektionsvermögens
des funktionsgestörten Gehörs mit Hilfe psycho-
akustischer Tuningkurven.
Laryng. Rhinol. 56 1977 (121-127)

(17) Shower,E.G., Bidduöph,R.:
Differential pitch sesitivity of the ear.
Journal Acoust. Soc. Am. 3 1931 (275-287)

(18) Tumarkin,A.:
Bimodal hearing,the controversial second filter,
and the mystery of the missing OHC afferents.
In: The Journal of Laryngology and Otology
April 1982 Vol. 96 (297-308)

(19) Wightman,F.L., Mc Gee,T., Kramer,M.:
Factors influencing frequency selectivity in
normal and hearing impaired listeners.
In: Psychophysics and physiology of hearing (295-306)
Eds.: E.F.Evans, J.P.Wilson Academic Press 1977

(20) Yoshida und Lowry:
Hydrostatic pressure measurement of endolyph and
perilymph in the guinea pig cochlea.
Abst. 6. Midwinter research meeting
Assoc. for Research in Otolaryngology
St.Petersburg Januar 23-27 1983 (18)

(21) Zwicker,E.:
Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplitudenmodulation
und der Frequenzmodulation eines Tones.
Acustica 1952 (125-133)

(22) Zwicker,E., Feldtkeller,R.:
Das Ohr als Nachrichtenempfänger.
Hirzel Stuttgart 1967

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. C. Morgenstern für die Überlassung des Themas, für seine Betreuung und und für die wertvollen Hinweise bei der Durchführung der Arbeit.

LEBENSLAUF

Am 11. August 1944 wurde ich als zweites Kind des Diplom-Kaufmanns Dr. Heinrich Otterbach und seiner Ehefrau Liselotte Otterbach, geb. Friedrich, in Köln geboren.

Vom 1. April 1951 bis zum 31. März 1956 besuchte ich die Volksschule in Düsseldorf. Am 1. April 1956 wechselte ich auf das Gymnasium über, welches ich im März 1963 mit dem Abschluß der mittleren Reife verließ.

Vom 1. April 1963 bis zum 30. September 1966 absolvierte ich bei der Firma Rheinmetall in Düsseldorf eine Lehre als Maschinenschlosser, welche ich mit der Facharbeiterprüfung abschloß. Nach meiner Lehre arbeitete ich vom 1. Oktober 1966 bis zum 30. September 1967 bei der Firma Rheinmetall als Mechaniker.

Vom 1. Oktober 1967 bis zum 31. März 1969 leistete ich meinen Grundwehrdienst ab.

Vom Sommersemester 1969 bis zum Wintersemester 1970/71 habe ich an der Fachhochschule in Düsseldorf Ingenieurwissenschaften studiert. In den Jahren 1971 bis 1974 besuchte ich neben meiner beruflichen Tätigkeit als Detailkonstrukteur das Abendgymnasium in Düsseldorf, welches ich am 1. Juli 1974 mit dem Zeugnis der Reife abschloß.

Im Wintersemester 1974/75 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität Düsseldorf. Im Februar 1976 legte ich die naturwissenschaftliche, zahnärztliche Vorprüfung und im September 1977 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Im Mai 1980 bestand ich das zahnärztliche Staatsexamen. Am 2. Juni 1980 wurde mir die Bestallung als Zahnarzt erteilt.
Seit dem 16.Juni 1980 arbeite ich als wissenschaftlicher Angestellter an der Westdeutschen Kieferklinik in Düsseldorf, wo ich mich über einen Zeitraum von drei Jahren oralchirurgisch weiterbildete.